

# Jaderný palivový cyklus a jeho aplikace v ČR II

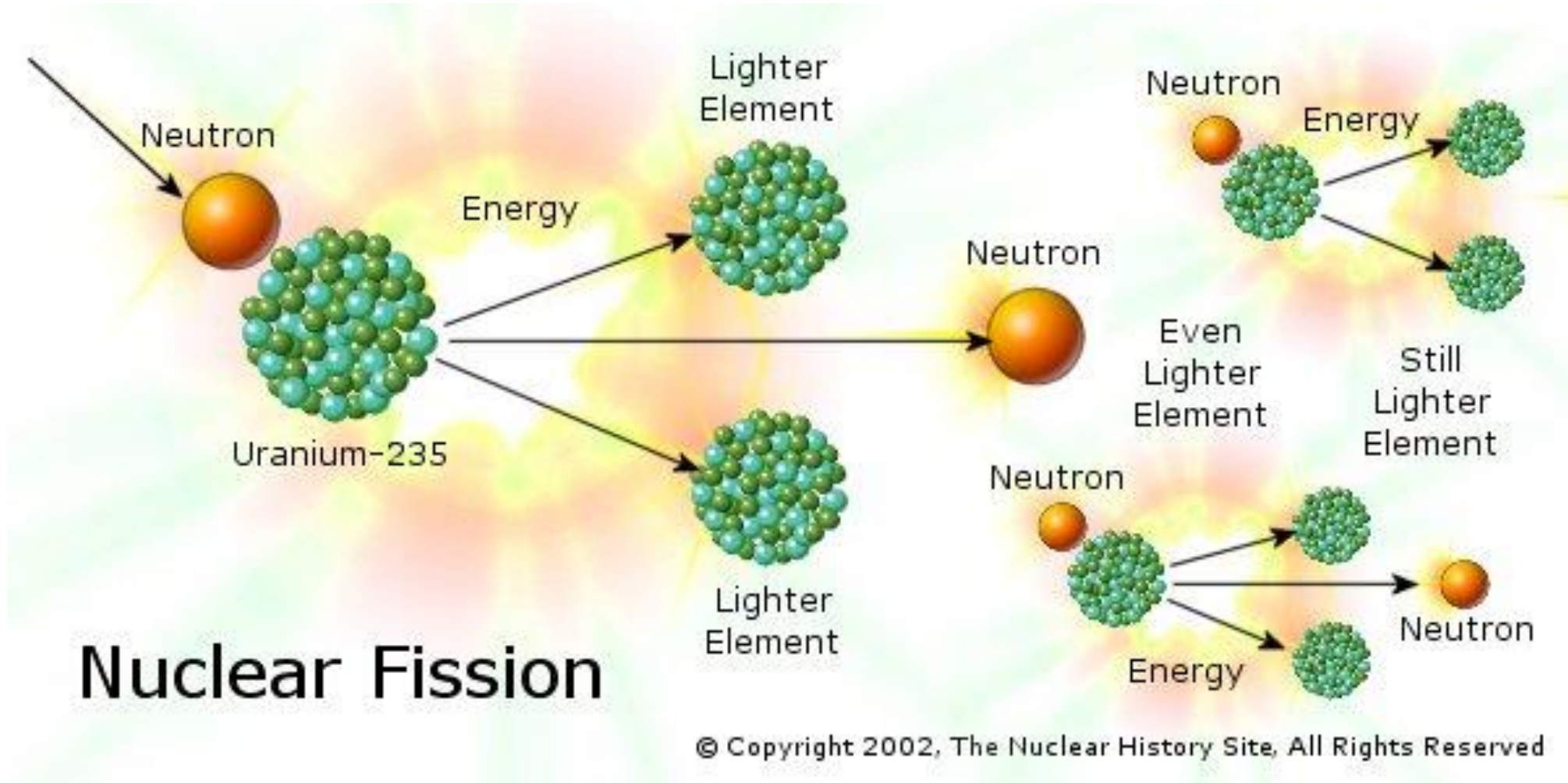
**doc. PhDr. Tomáš Vlček, Ph.D.**  
tomas.vlcek@mail.muni.cz

# Činná část

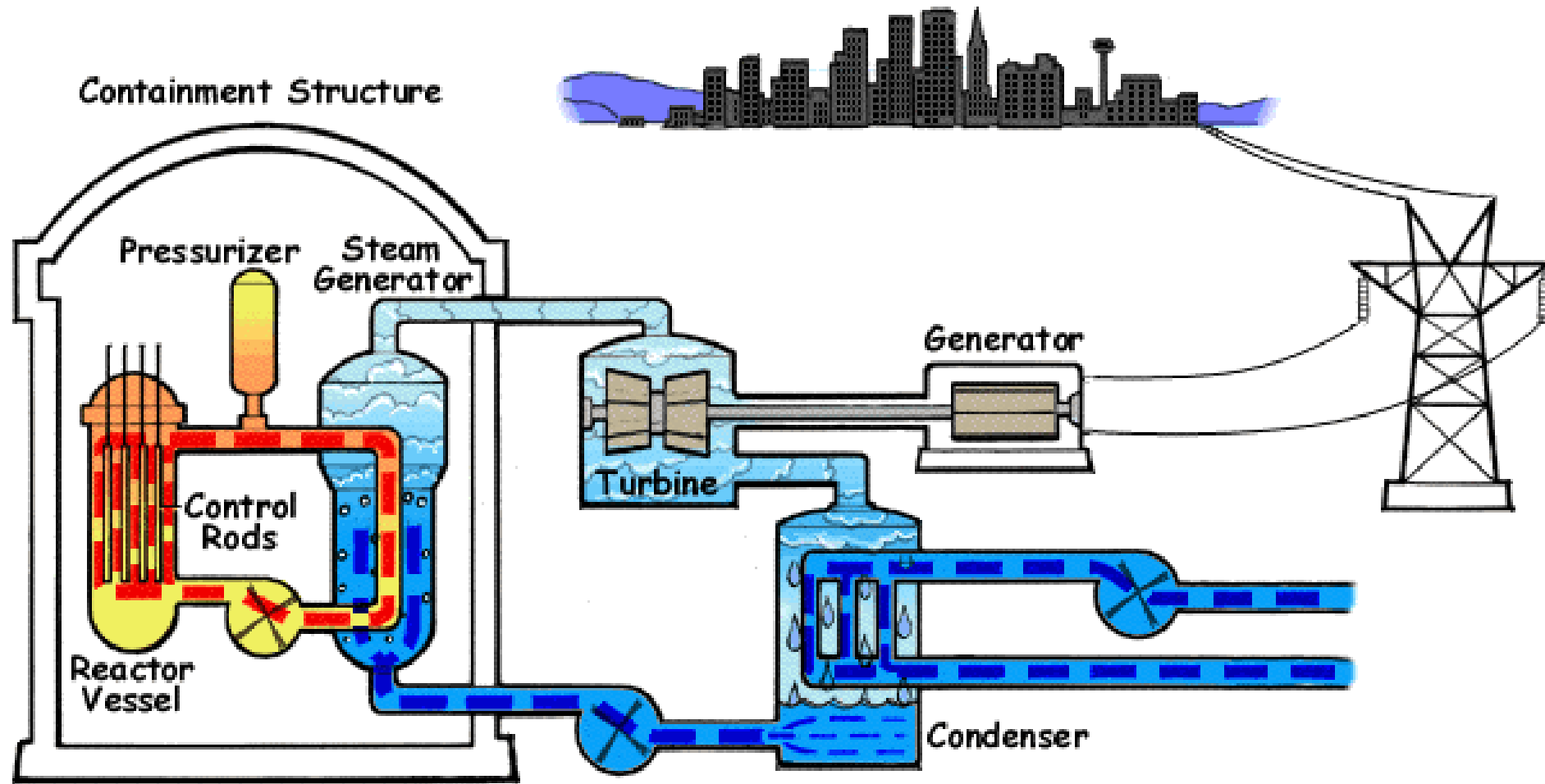
## Nuclear power plants in commercial operation or operable

Reactor type	Main countries	Number	GWe	Fuel	Coolant	Moderator
Pressurised water reactor (PWR)	US, France, Japan, Russia, China	292	275	enriched UO <sub>2</sub>	water	water
Boiling water reactor (BWR)	US, Japan, Sweden	75	73	enriched UO <sub>2</sub>	water	water
Pressurised heavy water reactor (PHWR)	Canada, India	49	25	natural UO <sub>2</sub>	heavy water	heavy water
Gas-cooled reactor (AGR & Magnox)	UK	14	8	natural U (metal), enriched UO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	graphite
Light water graphite reactor (RBMK & EGP)	Russia	11 + 4	10	enriched UO <sub>2</sub>	water	graphite
Fast neutron reactor (FBR)	Russia	3	1.4	PuO <sub>2</sub> and UO <sub>2</sub>	liquid sodium	none
TOTAL		448	392			

# Tlakovodní reaktory (PWR)



# Tlakovodní reaktory (PWR)





БАЛКРАН

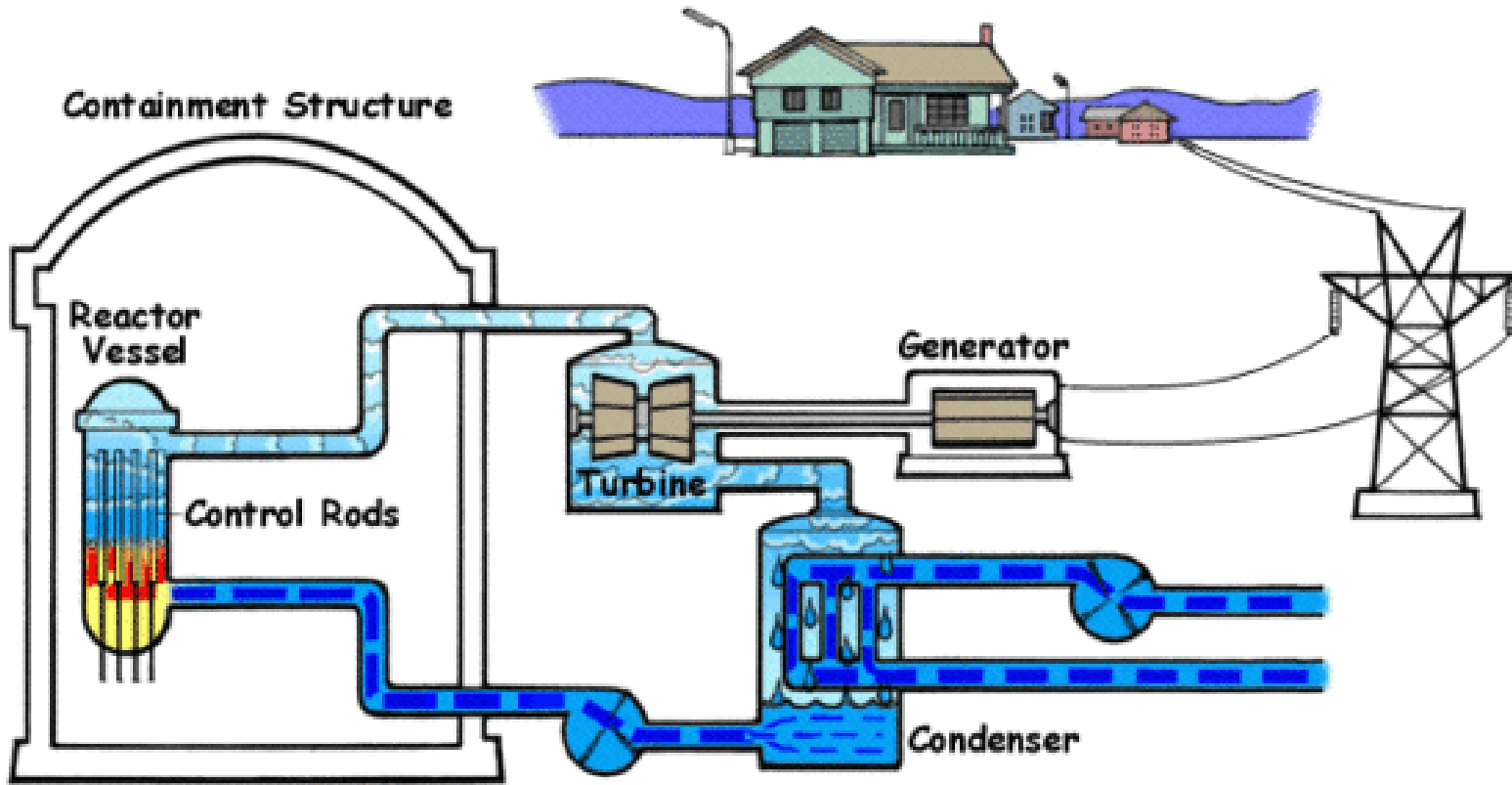
180(220)/32+220+6.3т

БАЛКРАН

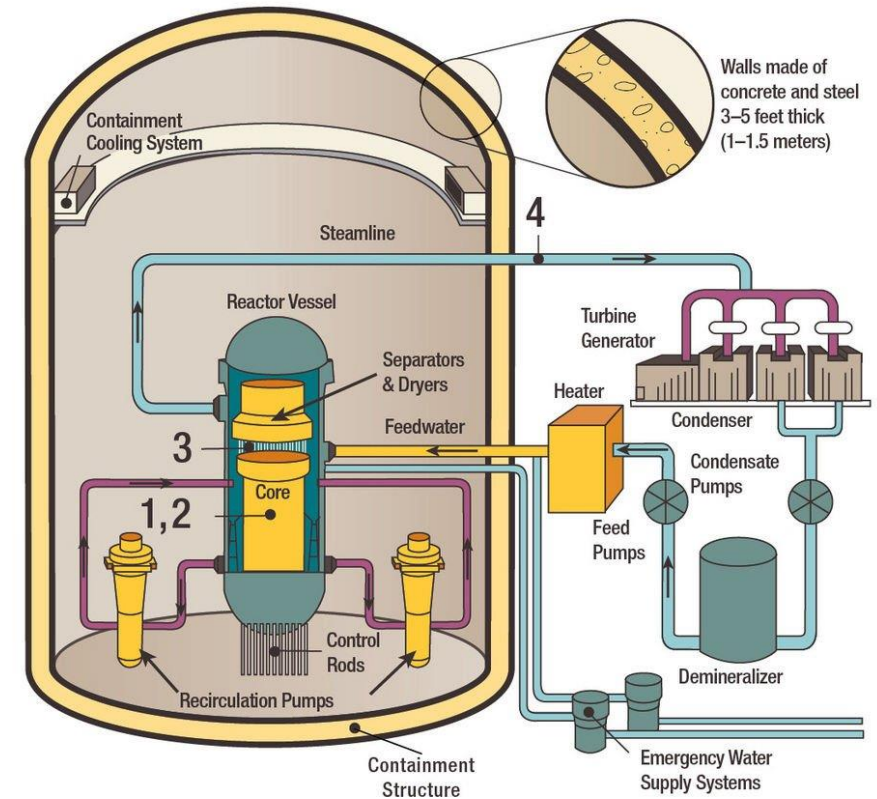
15т



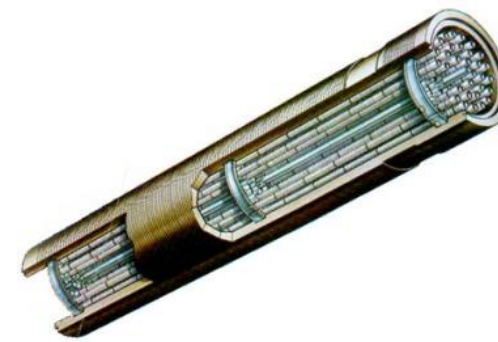
# Varné reaktory (BWR)



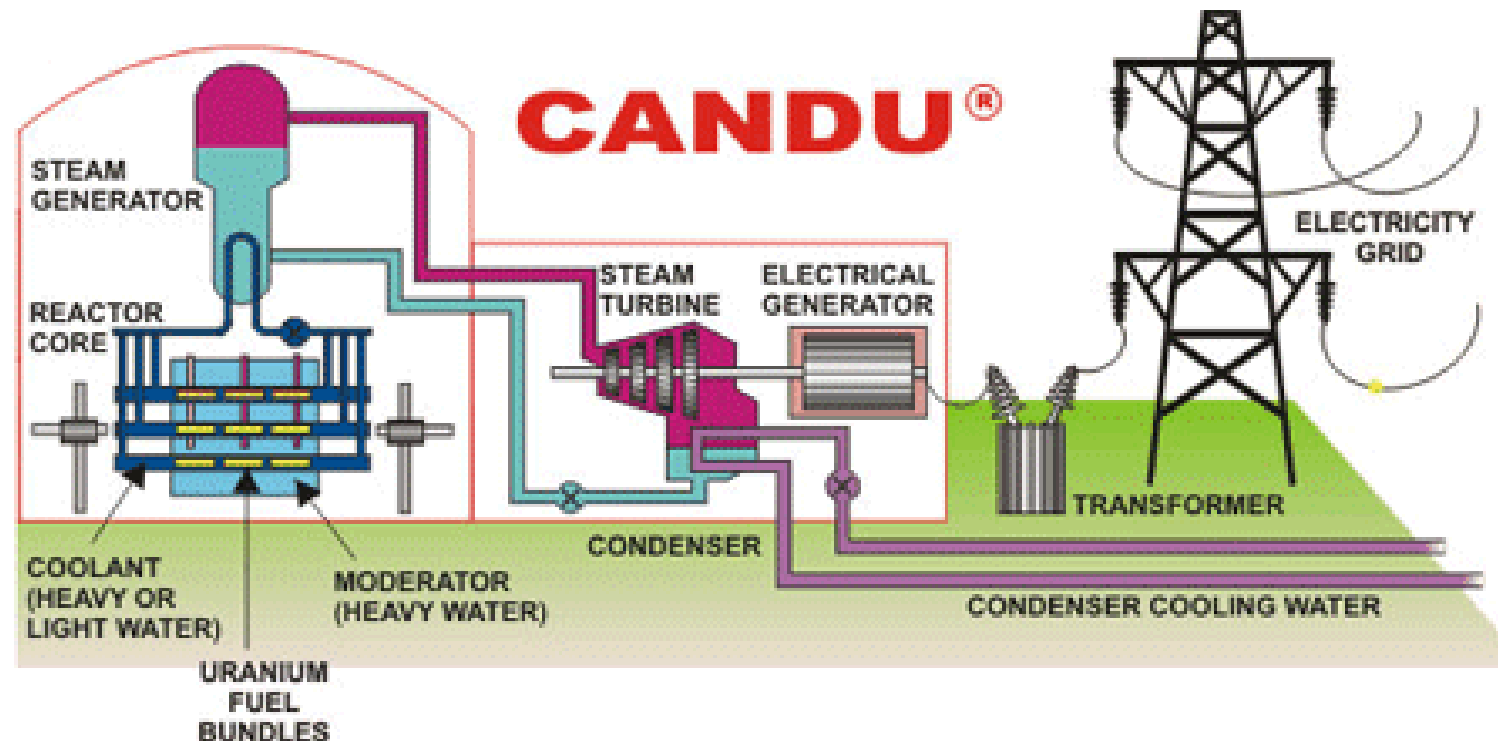
Typical Boiling-Water Reactor



# Těžkovodní reaktory (PHW)



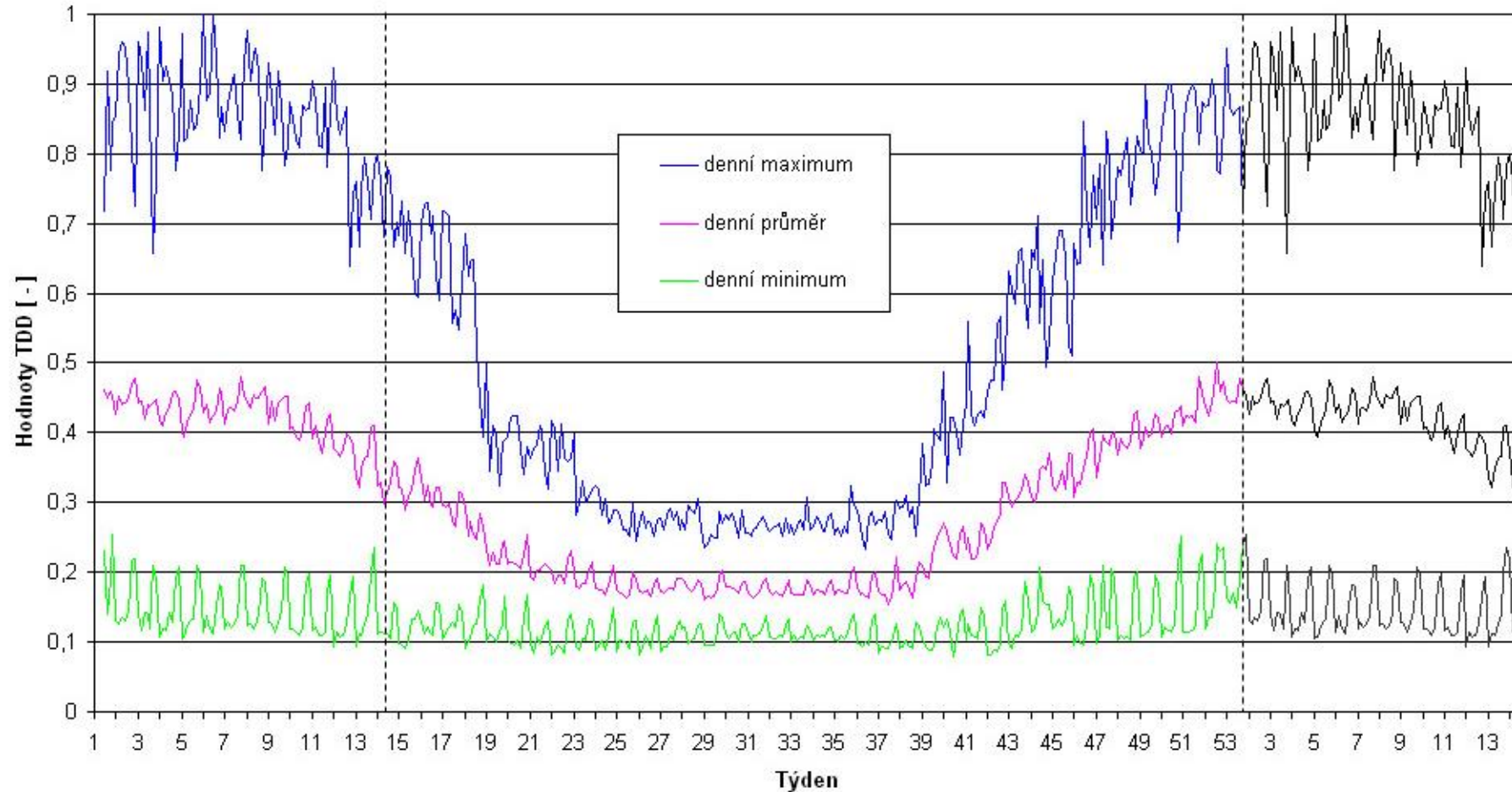
- Generally the same structure as PWR
- Heavy water (not radioactive, but poisonous) absorbs less neutrons, thus is able both to moderate nuclear reaction and secure criticality = non-enriched fuel can be used





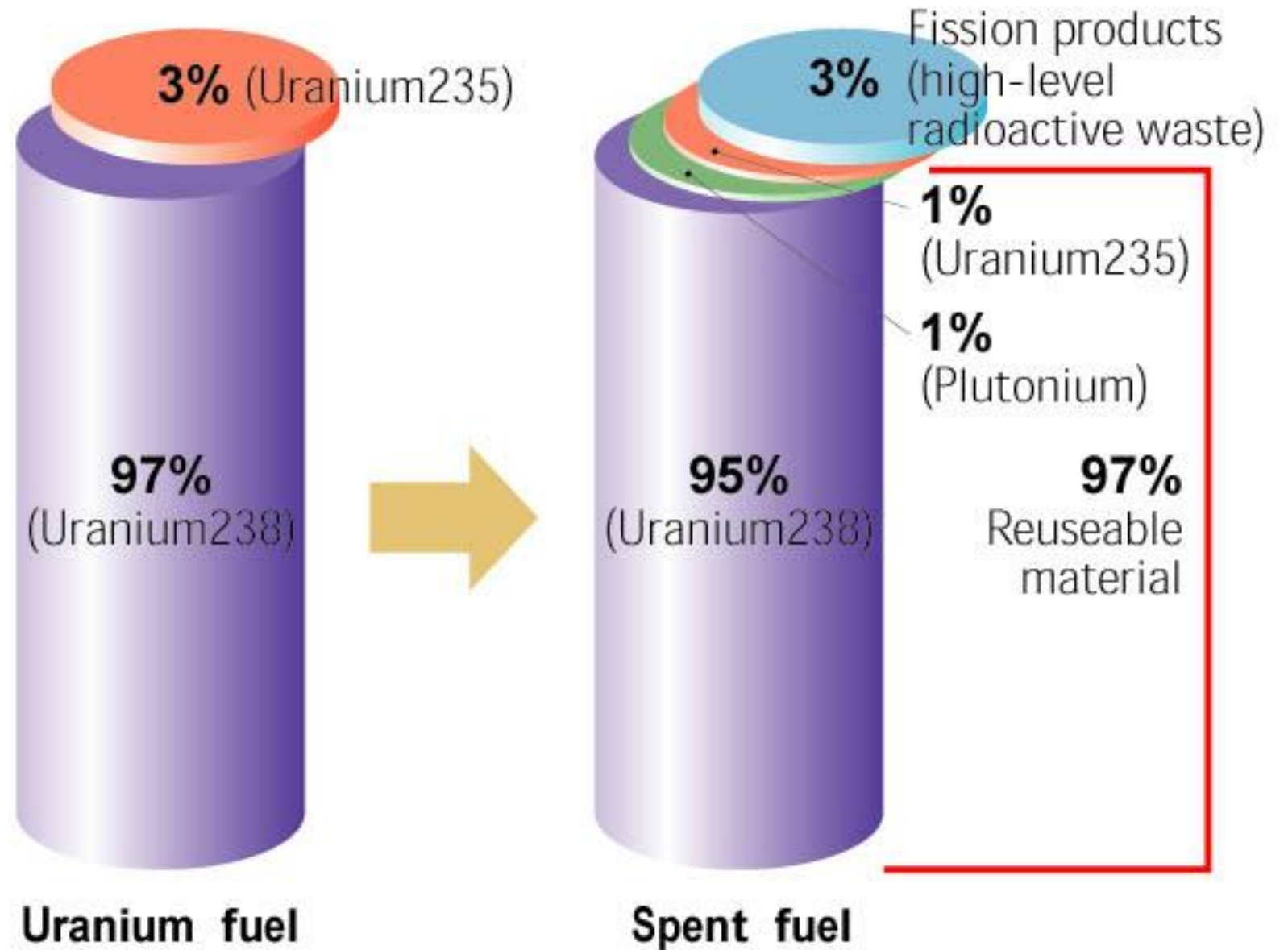
# Využití jaderné elektrárny

VYTVÁŘENÍ REGIONÁLNÍCH TYPOVÝCH DIAGRAMŮ



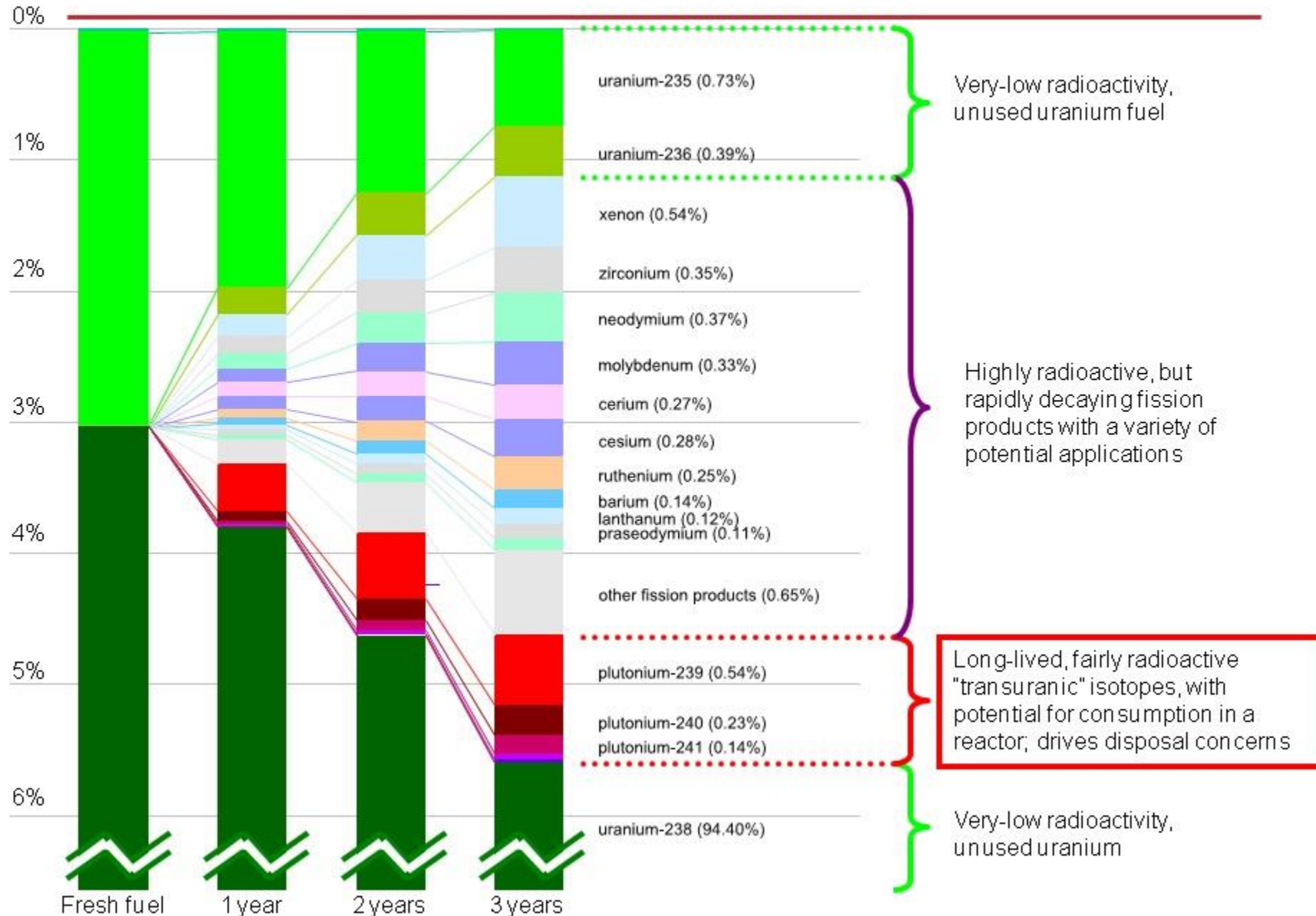
# Back End

- Štěpná řetězová reakce spotřebovává  $^{235}\text{U}$  (případně  $\text{Pu}$ ).



# Composition of Conventional Nuclear Fuel

(17x17 Westinghouse, 3% enr., 1100 day irradi, 33000 MWD/MTU, discharge composition, Origen Arp analysis)



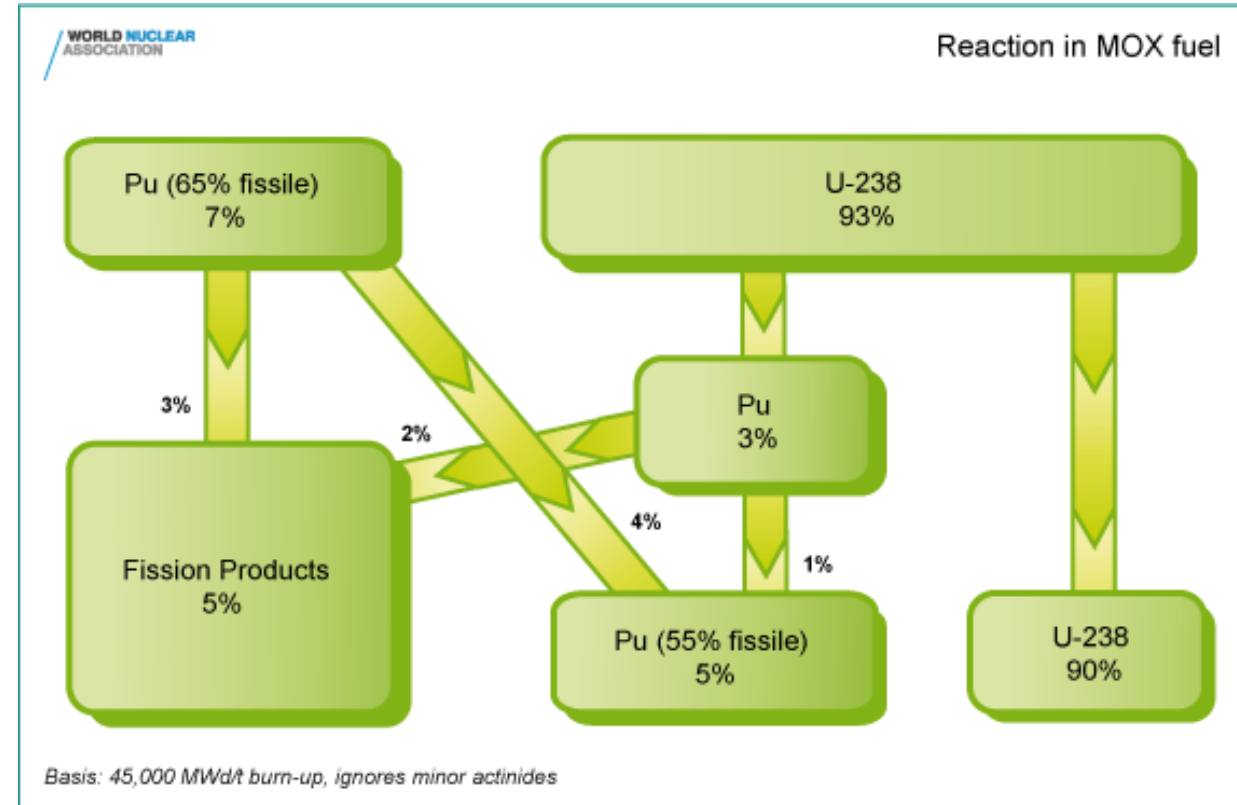
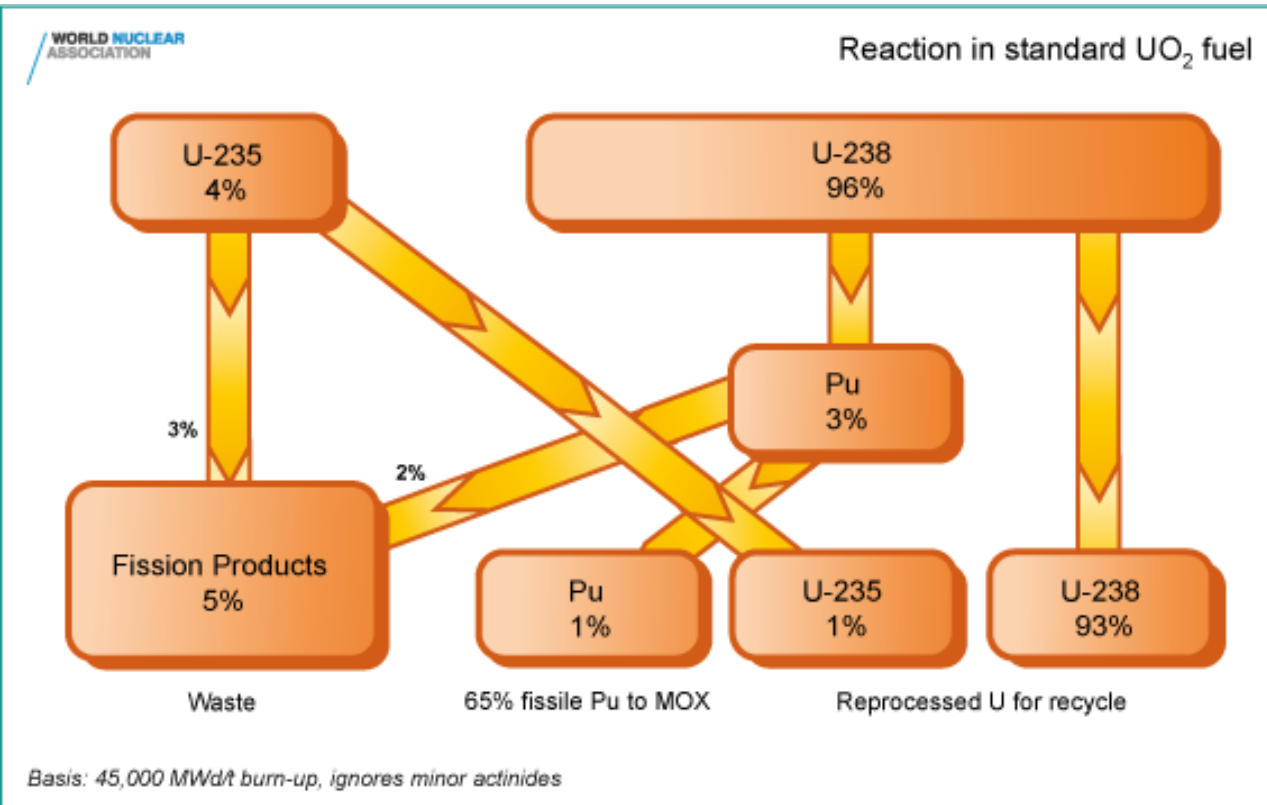
# MOX Palivo

- Mixed oxide (MOX) palivo tvoří přibližně 5 % čerstvého paliva.
- Je vyráběno mísení oxidů plutonia z použitého paliva a uranu z ochuzeného uranu (tailings).
- Pro MOX palivo lze použít i zásoby vojenského uranu či plutonia.
- MOX se používá v cca 30 lehkovodních reaktorech v Evropě a deseti v Japonsku.

## World mixed oxide fuel fabrication capacities (t/yr)

	<b>2017</b>
France, Marcoule	195
Japan, Tokai-Mura	5
Japan, Rokkasho-Mura (from 2022)	130
Russia, Zheleznogorsk	60
India, Tarapur	50
<b>Total for LWR</b>	<b>440</b>

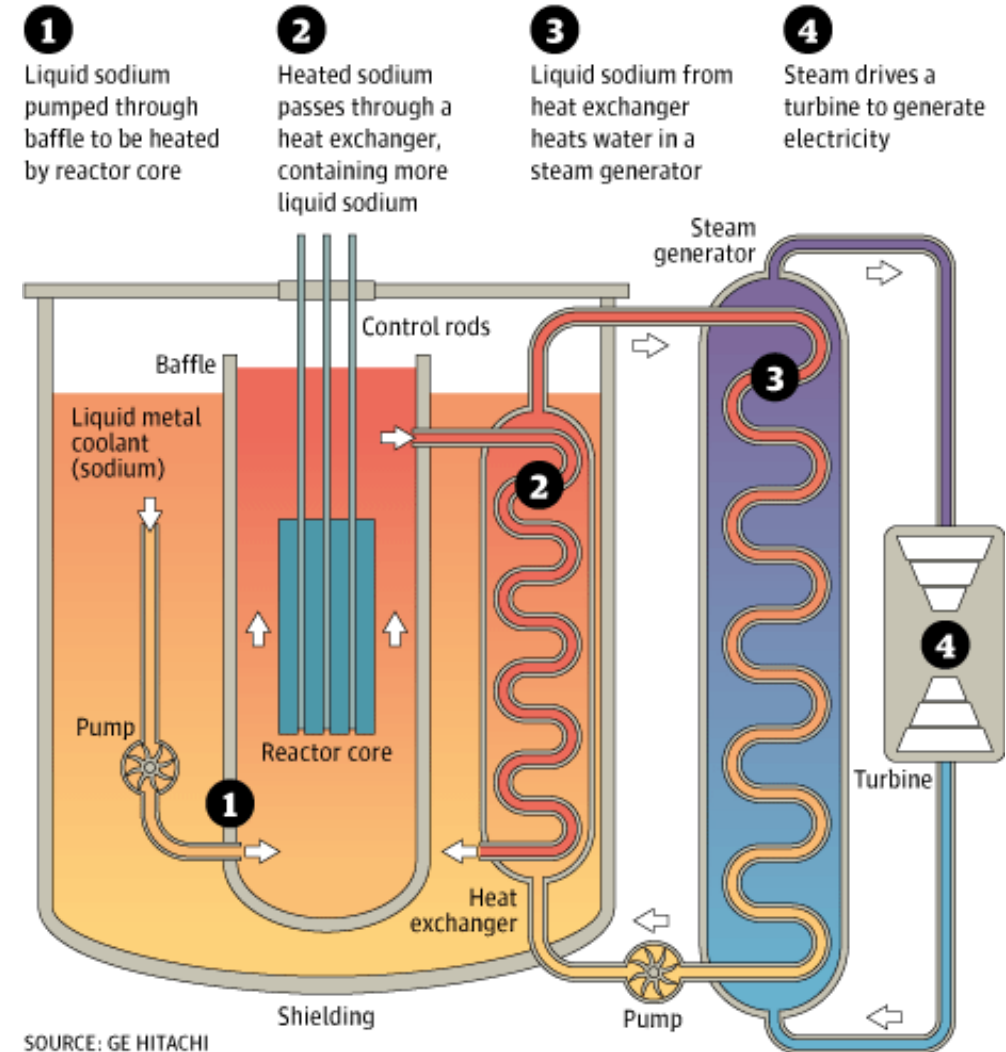
# MOX Palivo



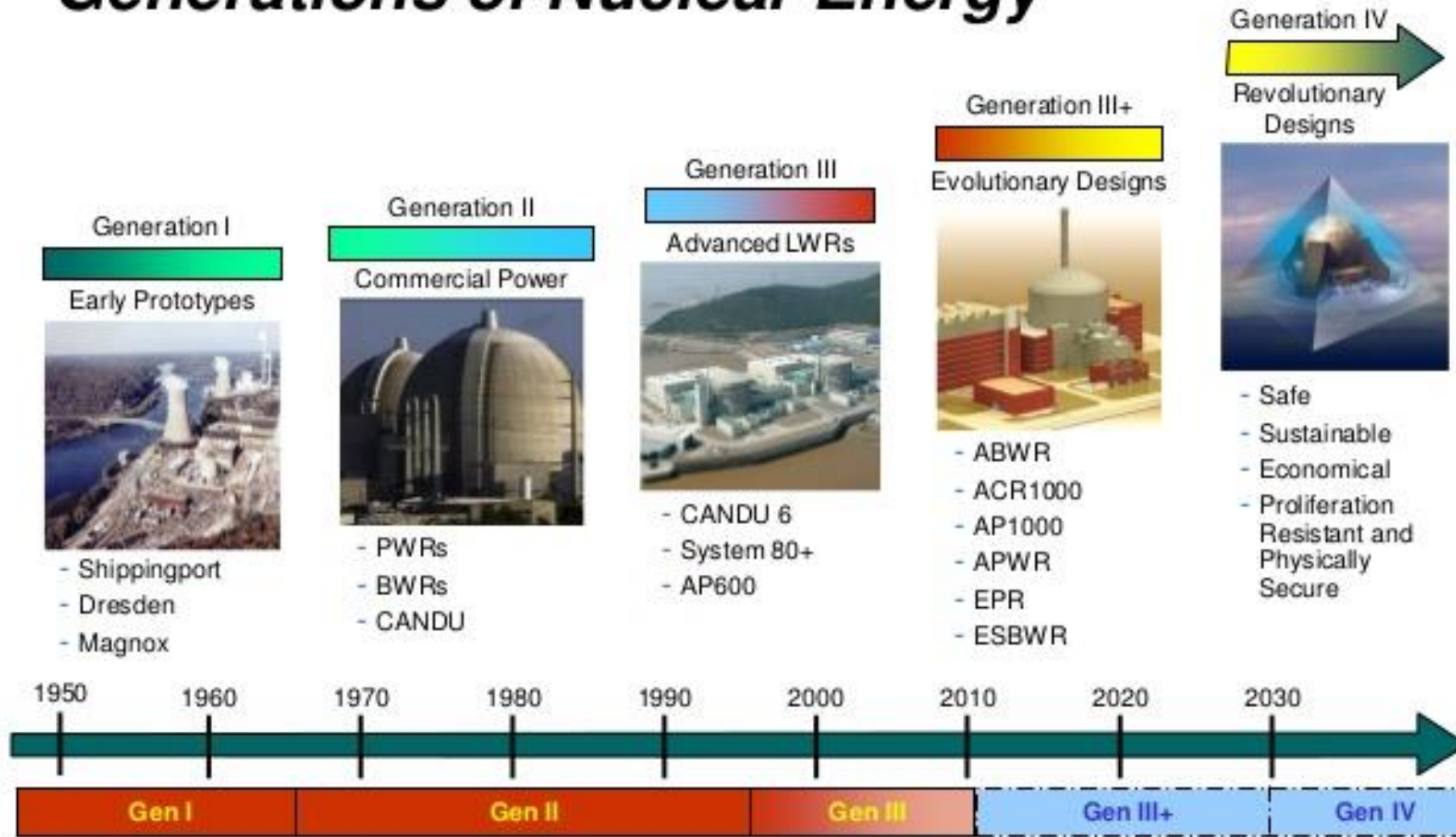
# Rychlé reaktory

- Rychlý (množivý) reaktor je reaktor, ve kterém je štěpná řetězová reakce udržována rychlými neutrony
- Takový reaktor nepotřebuje moderátor, ale vyžaduje palivo, které je bohaté na štěpitelný materiál
- Palivo se skládá z U235 a Pu239 (produkty štěpení s vyšší radiací), které tvoří více rychlých neutronů = lze tedy použít odpad z reaktorů generace II a III

## Inside a fast reactor



# Generations of Nuclear Energy



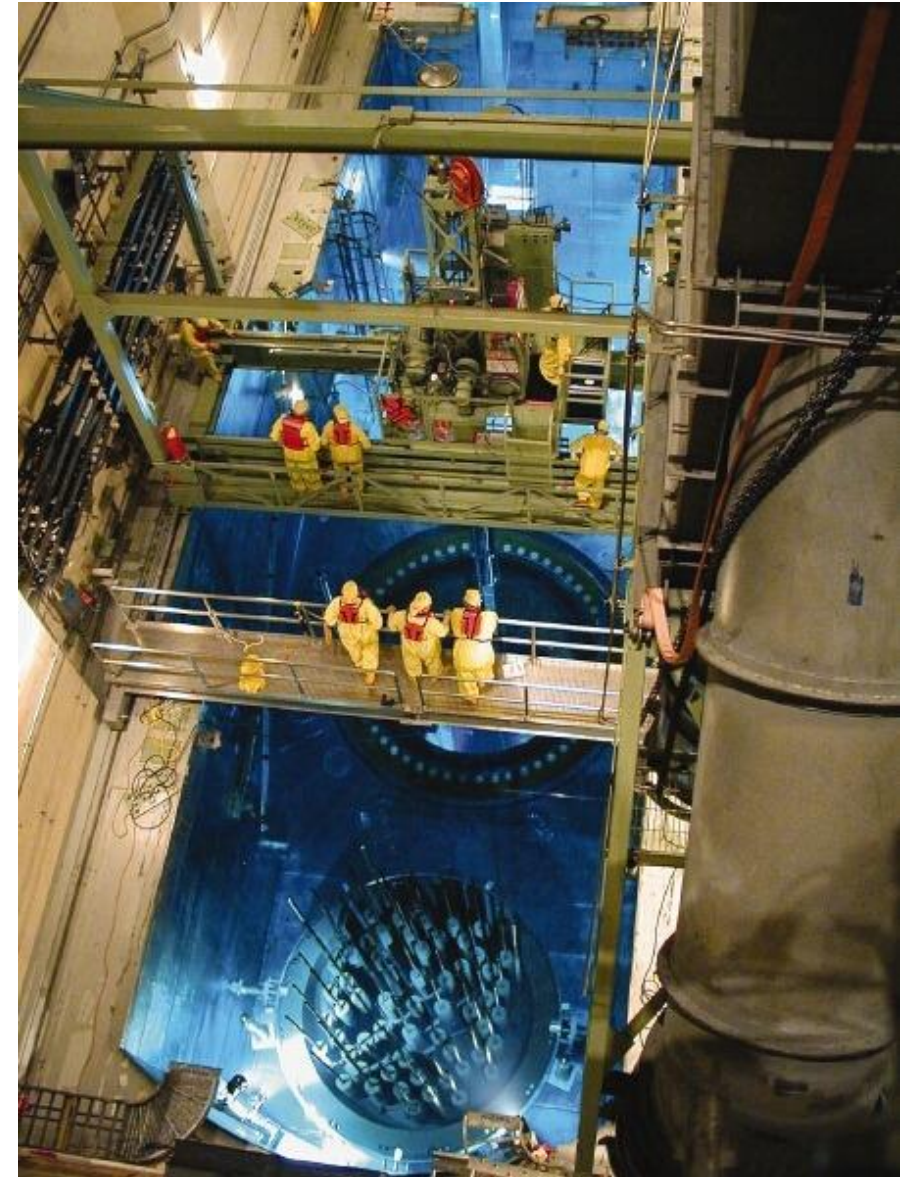
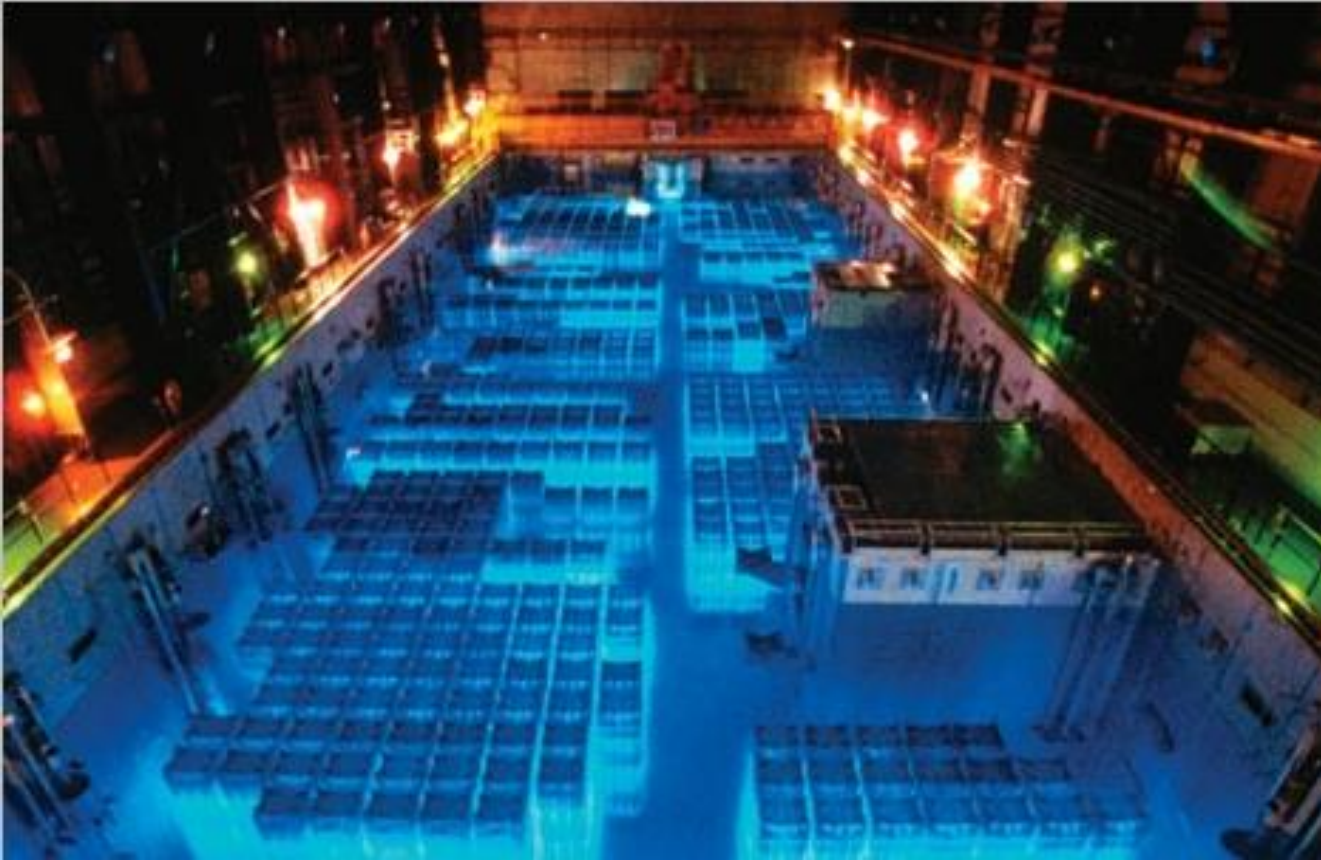
<http://www.gen-4.org/Technology/evolution.htm> 5

# Back End

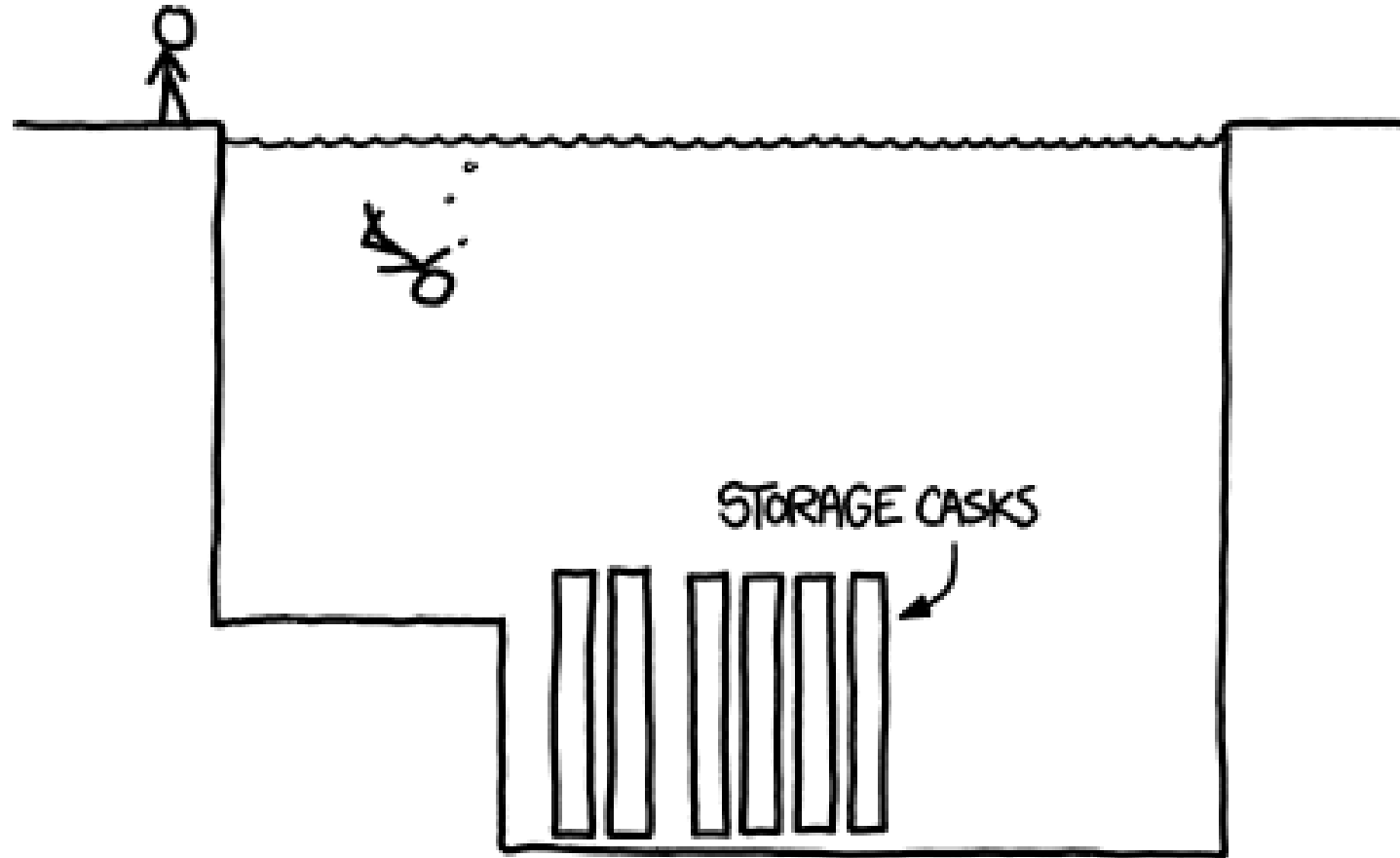
- V *první fázi* se palivové kazety nejdříve aktivně chladí v bazénu vedle reaktoru. Po pěti letech jsou přeloženy do suchých kontejnerů (CASTOR) a dále jsou pasivně chlazeny v meziskladech.
- JE Dukovany ročně vyprodukuje necelý jeden kontejner použitého paliva. Hmotnost prázdného kontejneru je 93,7 tun, naplněného 116,1 tun. JE Temelín vyprodukuje ročně dva plné kontejnery použitého paliva a 3 až 4 tyče ve třetím kontejneru. Jsou vysoké 5,5 metru a naplněný váží každý přibližně 116 tun.
- *Druhá fáze*, tedy transportní, je v současné době zajišťována železnicí, přičemž podléhá velmi přísné kontrole Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB). ČR se zatím netýká.
- V suchém meziskladu se palivo ukládá na dobu přibližně 80 let. Proto se finální hlubinné úložiště (*třetí fáze*) v České republice plánuje až na rok 2065.

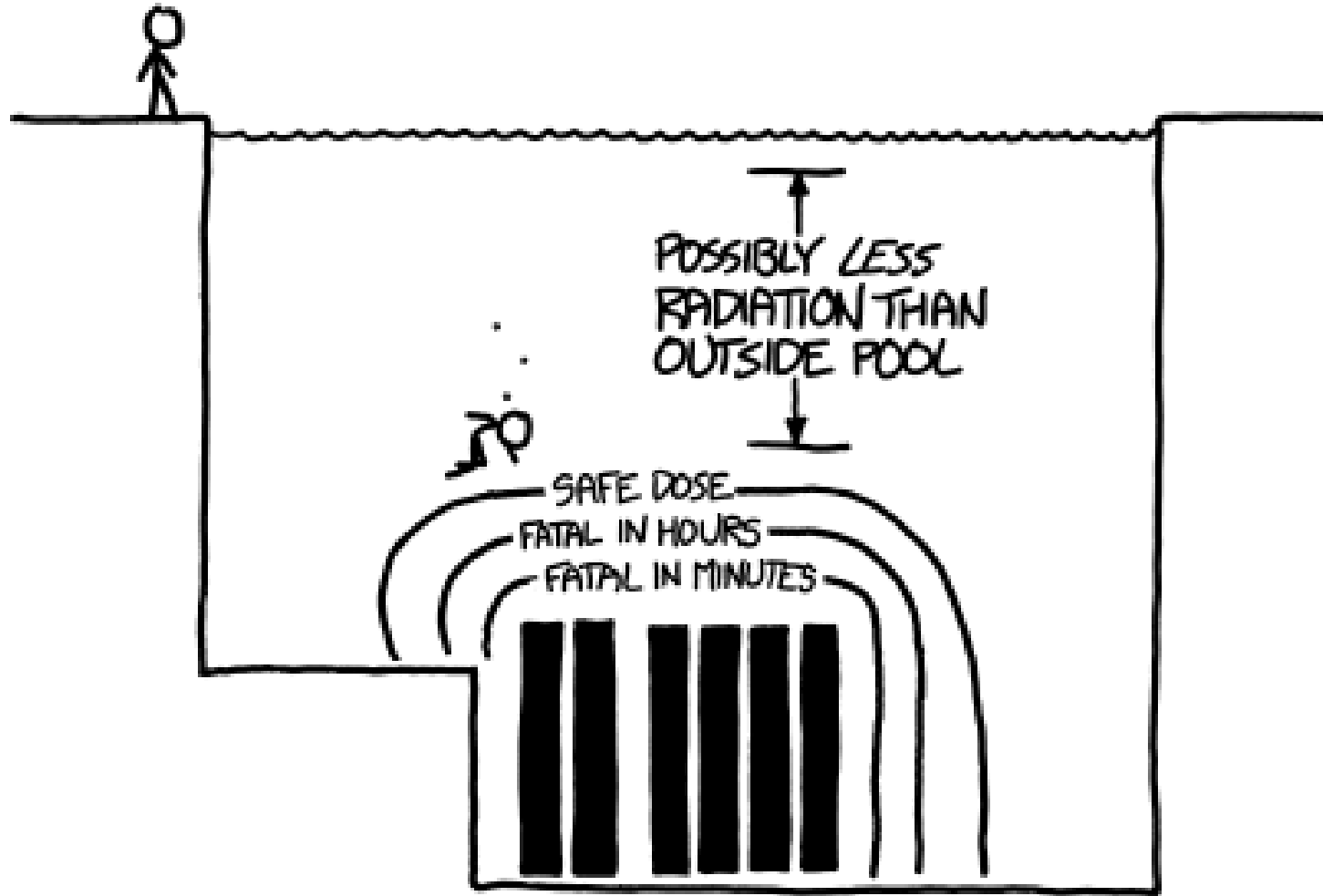


# Back End



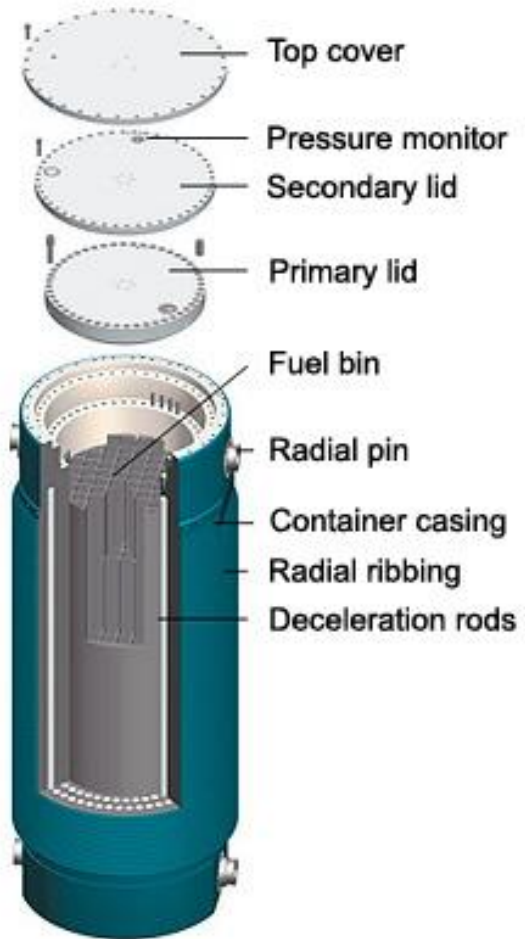
# Je bezpečné zaplavat si v bazénu s použitým palivem?





<https://what-if.xkcd.com/29/>

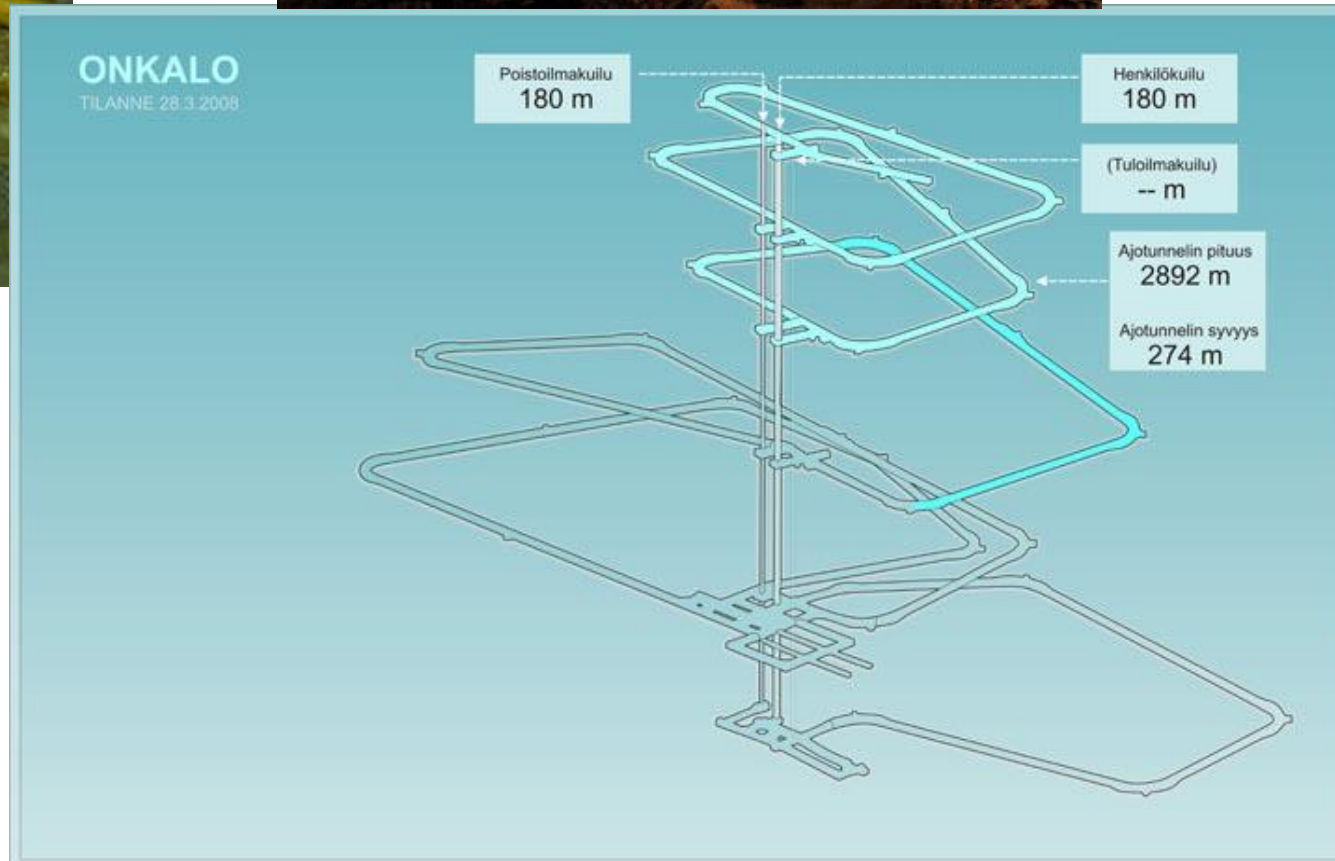
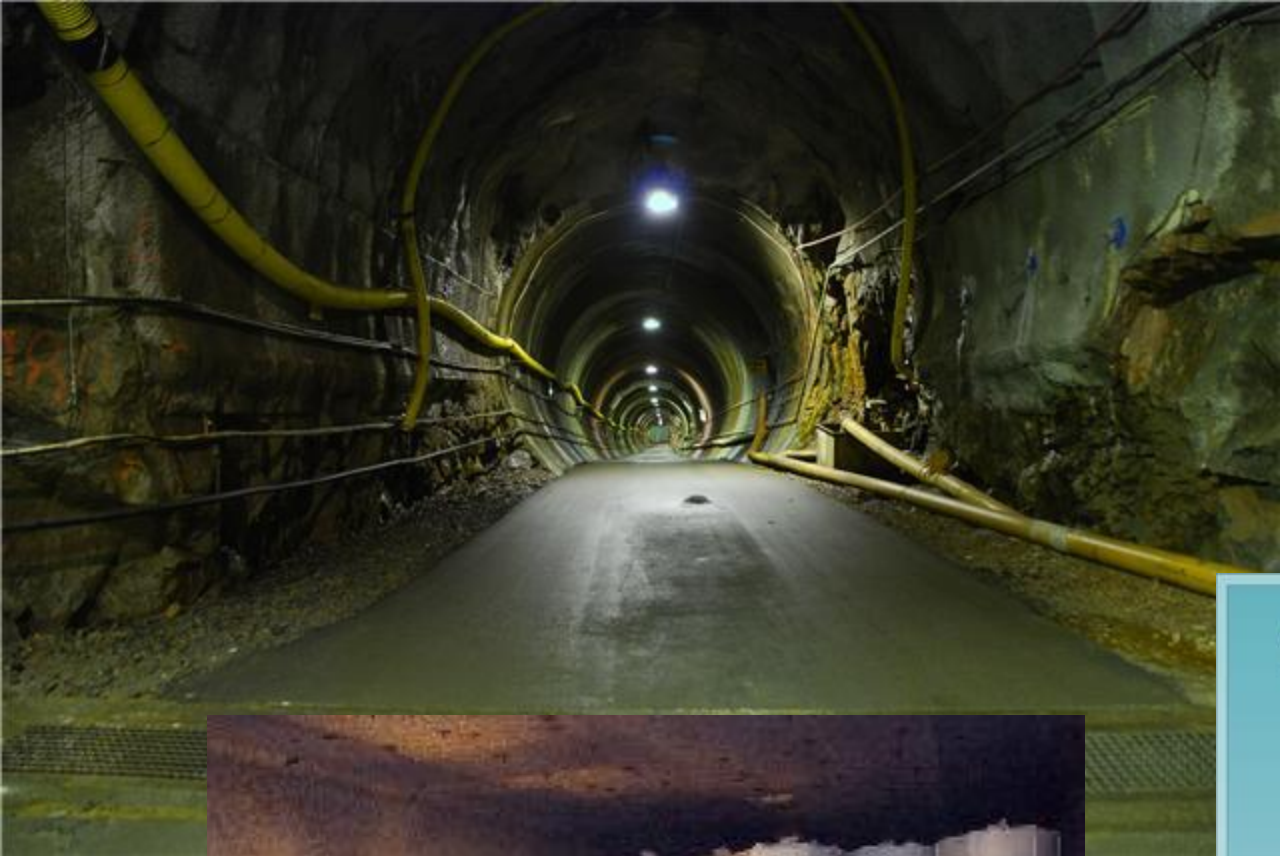
# Back End





2.5 meters long  
2.5 meters high  
2.5 meters wide

Inner part made of  
vacuum-sealed pipe  
Copper coil  
Total weight of detector  
including support



# Hlubinné úložiště v ČR

– Lokality pro vybudování hlubinného úložiště radioaktivních odpadů:

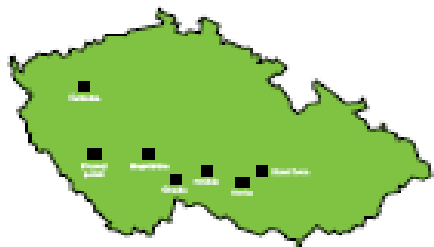
- **Březový potok u Pačejova**
- Čertovka u Lubence
- **Horka u Budišova**
- **Hrádek u Rohozné**
- Čihadlo u Lodhěřova
- Magdaléna u Božejovic
- Kraví hora
  
- **Janoch u ETE**
- Na Skalním u EDU

Schéma konce jaderného palivového cyklu v České republice			
<b>Doba setrvání použitého paliva</b>	cca 5-13 let	cca 80 let	trvale, příp. do přepracování
<b>Místo</b>	bazény vyhořelého paliva v JE Dukovany a JE Temelín	sklady JE Dukovany a JE Temelín, záložní úložiště Skalka	hlubinné úložiště
<b>Zodpovídá</b>	ČEZ, a.s.		SÚRAO
<b>Dozor vykonává</b>	Státní úřad pro jadernou bezpečnost		
<b>Finanční prostředky</b>	příslušný rozpočet ČEZ, a.s.		jaderný účet (odvody ČEZ, a.s.)
Zdroj: Otčenášek, 2005, s. 540; úprava T. Vlček.			

## GEOLOGICKÝ PRŮZKUM

Povrchové geologické průzkumy na sešmi lokalitách a geologický výzkum v okolí jaderných elektráren. Vyhodnocení dle kritérií a zúžení počtu lokalit na čtyři.

### POVRCHOVÝ PRŮZKUM



**7** lokalit + **2** okolí JE

2015-2017

## VRTNÝ PRŮZKUM - I. FÁZE

Geologický průzkum včetně hlubokých vrtnů. Vyhodnocení dle kritérií, výběr okruhu kandidátních lokalit. Stanovisko dotčených obcí.

I. etapa



**4** lokality

2018-2020

## VRTNÝ PRŮZKUM - II. FÁZE

Podrobný geologický průzkum včetně dalších hlubokých vrtnů, výzkum ve vmech. Dle kritérií výběr finální lokality, druhá lokalita jako záložní. Stanovisko dotčených obcí.

II. etapa



**2** lokality

2020-2024

## VYBĚR FINÁLNÍ LOKALITY

Rozhodnutí vlády o finální lokalitě. Projekt a schvalovací procesy.



**1** lokalita

2025

## PODZEMNÍ LABORATOR

Vznik ověřovací podzemní výzkumné laboratoře na finální lokalitě.



2030

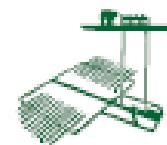
## VÝSTAVBA HU

Zahájení výstavby hlutinového úložiště.



2050

## PROVOZ HU



2065

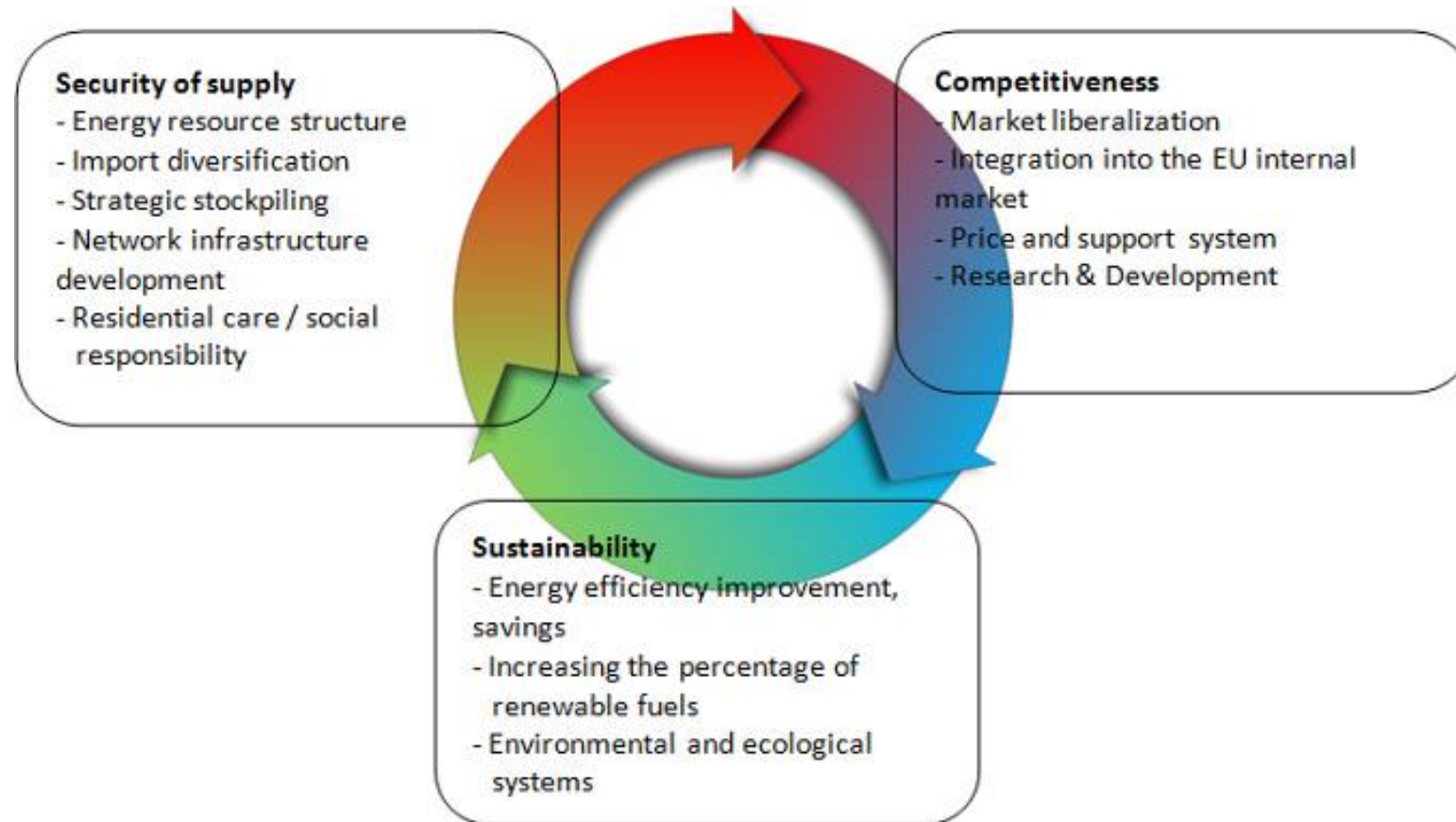


# Hlubinné úložiště v ČR

- 2016 - Provedení výzkumných studií k nalezení dalších potenciálně vhodných lokalit HÚ
- 2022 - Výběr dvou kandidátských lokalit
- 2025 - Výběr finální lokality
- 2026 - Zahájení EIA pro podzemní laboratoř
- 2028 - Podání žádosti o vydání územního rozhodnutí pro podzemní laboratoř
- 2035 - Zahájení EIA pro HÚ
- 2045 - Stavební řízení
- 2050 - Zahájení stavby
- 2065 - Zahájení provozu

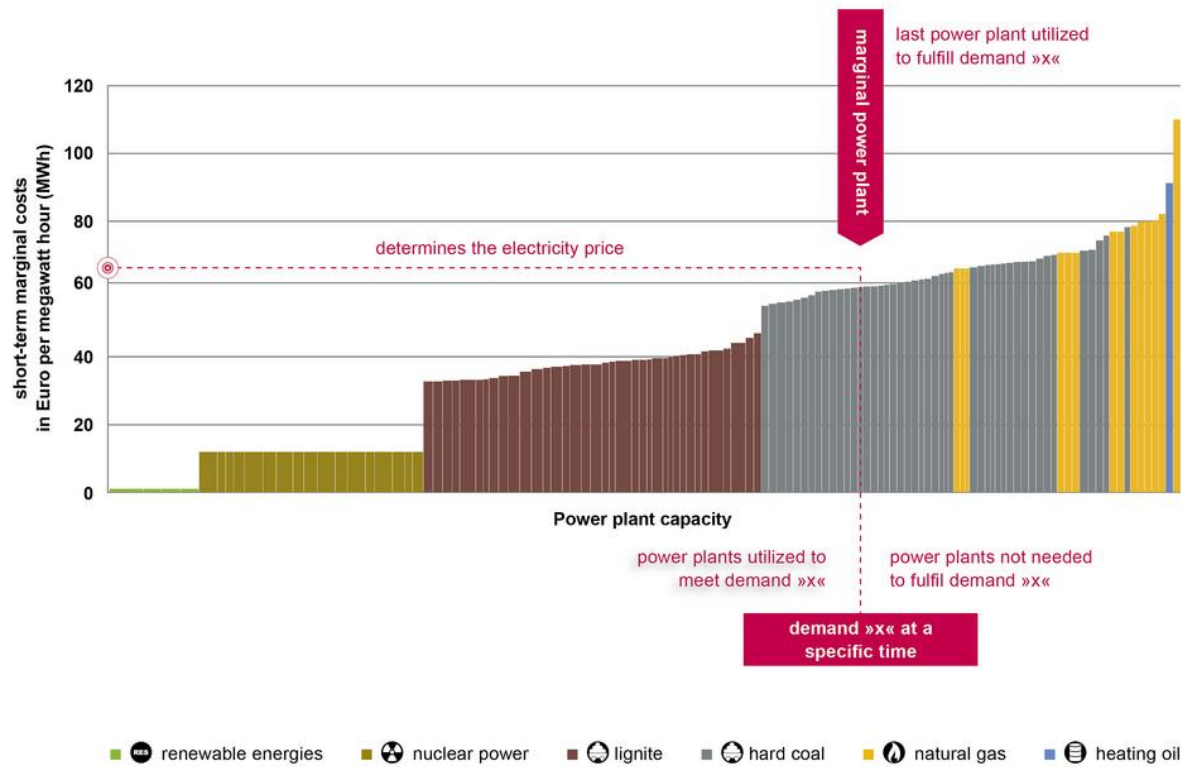
Zdroj: MPO, 2019

# Co se děje s elektřinou



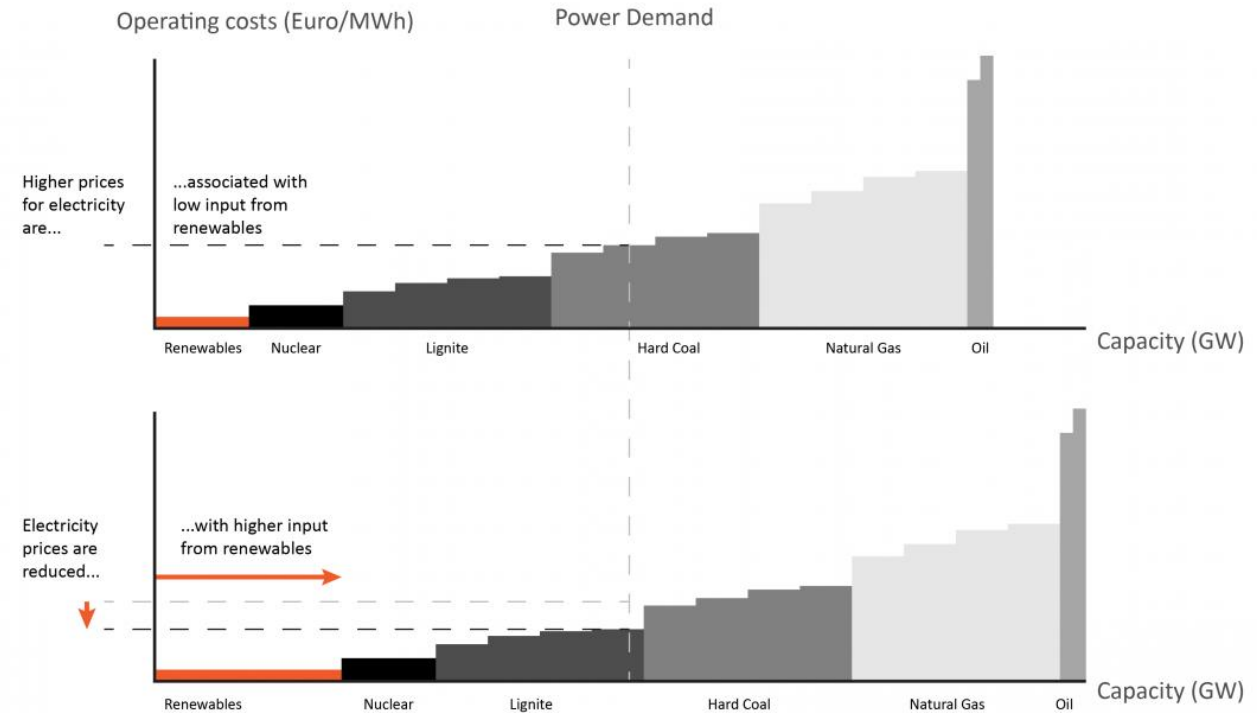
# Merit Order Effect (MOE)

How supply and demand determine electricity prices  
The merit order principle



SOURCE: OEKO-INSTITUT, 2013

## Illustrating electricity price fluctuations due to the Merit Order Effect



Děkuji za pozornost.

